

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. Juli 2005 (21.07.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/066486 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **F02M 51/06**,
61/16

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/050092

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. Januar 2005 (11.01.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102004001679.8 12. Januar 2004 (12.01.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **DICK, Jürgen**
[DE/DE]; Schlehenweg 10, 93164 Laaber (DE). **LIXL,**
Heinz [DE/DE]; Brunhuberstr. 12 A, 93053 Regensburg
(DE). **SIMMET, Martin** [DE/DE]; Hebbergring 44,
93077 Bad Abbach (DE).

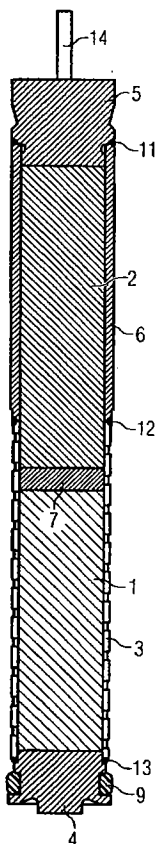
(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGE-**
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **PIEZO ACTUATOR COMPRISING MEANS FOR COMPENSATING THERMAL LENGTH MODIFICATIONS AND
FUEL-INJECTION VALVE COMPRISING A PIEZO ACTUATOR**

(54) Bezeichnung: **PIEZOAKTOR MIT MITTELN ZUR KOMPENSATION DER THERMISCHEN LÄNGENÄNDERUNG
UND KRAFTSTOFF-EINSPRITZVENTIL MIT PIEZOAKTOR**



(57) Abstract: The invention relates to an actuator unit, in which the piezo actuator (1) is located inside a tubular spring (3) under pre-stress. To compensate the thermal length modifications of the piezo actuator (1) in relation to the actuator housing (4, 3, 6, 5), the compensation element is configured as an aluminium compensation cylinder (2) that is situated in an extension tube (6). The piezo actuator (1) and the compensation cylinder (2) are mounted in series and conjointly pre-stressed by means of the tubular spring (3) that is extended in relation to the actuator housing by the extension tube (6).

(57) Zusammenfassung: Zum Ausgleich der unterschiedlichen thermischen Längenänderung des Piezoaktors 1 gegenüber dem Aktorgehäuse 4, 3, 6, 5 wird für eine Aktoreinheit, bei der der Piezoaktor 1 unter Vorspannung innerhalb einer Rohrfeder 3 angeordnet ist, vorgeschlagen, das Ausgleichselement als innerhalb eines Verlängerungsrohres 6 angeordneten Aluminium-Ausgleichszynder 2 auszubilden. Der Piezoaktor 1 und der Ausgleichszynder 2 werden in Reihe montiert und gemeinsam mittels der durch das Verlängerungsrohr 6 zum Aktorgehäuse verlängerten Rohrfeder 3 vorgespannt.

WO 2005/066486 A1



MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Piezoaktor mit Mitteln zur Kompensation der thermischen Längenänderung und Kraftstoff-Einspritzventil mit Piezoaktor

5

Die Erfindung betrifft einen Piezoaktor und ein Kraftstoff-Einspritzventil für eine Brennkraftmaschine mit einer fest mit einem Ventilgehäuse verbundenen Aktoreinheit, die mindestens einen unter Vorspannung in ein Aktorgehäuse eingebrachten Piezoaktor aufweist, wobei zwischen dem Piezoaktor und einer Kopfplatte des Aktorgehäuses ein Ausgleichselement zum Ausgleich der unterschiedlichen thermischen Längenänderung des Piezoaktors gegenüber dem Aktorgehäuse angeordnet ist.

15 Ein derartiges Einspritzventil ist bereits aus der EP 0 869 278 A1 bekannt.

Für die Kraftstoffversorgung von Verbrennungsmotoren werden zunehmend Hochdruck-Speichereinspritzsysteme verwendet. Solche Einspritzsysteme sind als Common-Rail-Systeme (für Dieselmotoren) und HPDI-Einspritzsysteme (für Ottomotoren) bekannt. Bei diesen Einspritzsystemen wird der Kraftstoff mit einer Hochdruckpumpe in einen allen Zylindern des Motors gemeinsamen Druckspeicher gefördert, von dem aus die Einspritzventile an den einzelnen Zylindern versorgt werden. Die Steuerung des Öffnens und Schließens der Einspritzventile kann elektromagnetisch oder elektrisch erfolgen; im vorliegenden Fall werden dazu elektrische Piezoaktuatoren herangezogen.

30 Die bei Ansteuerung des Piezoaktors erfolgende Ausdehnung in axialer Richtung wird ausgenutzt, um über eine direkte oder indirekte Wirkverbindung mit der Einspritznadel des Ventils die Einspritznadel zum Einspritzen von Kraftstoff zu steuern, wobei eine relativ empfindliche Justierung zwischen Piezoaktor und Einspritzventil vorausgesetzt ist. Durch die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Piezokeramik und der umgebenden Materialien ergibt sich das Prob-

lem, die durch den notwendigen weiten Temperaturarbeitsbereich bei einem Fahrzeug hervorgerufenen unterschiedlichen Längenausdehnungen zu kompensieren, um eine Dejustierung des Ventilhubs zu vermeiden.

5

Neben dem früher üblichen hydraulischen Ausgleichselement sind inzwischen auch verschiedene nichthydraulische Maßnahmen zum Ausgleich der Längenausdehnung des Piezoaktors und eines umgebenden Aktorgehäuses bzw. Ventilgehäuses bekannt. Beispielsweise ist aus der DE 195 38 791 C2 ein Piezosteuerventil bekannt, bei dem das Ventilgehäuse selbst als zweiteilige Hülse mit axial hintereinander angeordneten Hülseanteilen ausgebildet ist, die aus verschiedenen Werkstoffen mit unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten bestehen. In der gattungsgemäßen Patentanmeldung EP 0 869 278 A1 werden zwei weitere, auch voneinander unabhängige, jedoch kombinierbare Ausgleichsmöglichkeiten genannt. Zum einen wird vorgeschlagen, für das Material des den Aktor umgebenden Aktorgehäuses einen Ausdehnungskoeffizienten zu wählen, der nahezu gleich dem Ausdehnungskoeffizient des Piezoaktors ist. Zum anderen wird mindestens eine zwischen dem Piezoaktor und der Deckplatte des Aktorgehäuses angeordnete Ausgleichsscheibe mit relativ hohem Ausdehnungskoeffizienten vorgeschlagen, die geeignet ist, den geringeren Ausdehnungskoeffizient des Piezoaktors gegenüber dem Aktorgehäuse auszugleichen.

Eine besondere Problematik der beschriebenen Temperaturkompensation tritt im Zusammenhang mit der notwendigen Vorspannung des Piezoaktors im Aktorgehäuse auf. Da Zugspannungen im piezokeramischen Aktormaterial unbedingt zu vermeiden sind, wird der unbestromte Piezoaktor mittels Federkraft in definierter Weise vorgespannt. Der bestromte Piezoaktor muss sich also gegen diese Vorspannung ausdehnen. Typischerweise wird zur Erzeugung dieser Vorspannung, wie in der gattungsgemäßen EP 0 869 278 A1 beschrieben, eine zwischen der Bodenplatte des Aktorgehäuses und der zugeordneten Stirnseite des Piezoaktors angeordnete Feder eingesetzt, die den Aktor gegen die

Kopfplatte des Aktorgehäuses drückt und somit vorspannt. Ebenfalls beschrieben ist die Möglichkeit, eine derartige Vorspannfeder, bzw. ein zugeordnetes Stellglied, über die Materialwahl in die Kompensation der unterschiedlichen Längenausdehnung einzubeziehen.

Es sind jedoch auch Injektoren bekannt, bei denen der Piezoaktor innerhalb einer Rohrfeder aus Stahl vorgespannt ist, die an einer Seite mit einer Kopfplatte und gegenüberliegend, unter Vorspannung, mit einer Bodenplatte verschweißt ist. Die aus diesem "Gehäuse", zusammen mit dem darin unter Vorspannung eingebrachten Piezoaktor, gebildete Aktoreinheit wird mit einem Ventilgehäuse fest verbunden bzw. in einen Injektorkörper eingebaut. Die bekannten Maßnahmen zur Kompensation der unterschiedlichen Längenausdehnung sind bei dieser Konstruktion nicht ohne weiteres anwendbar. Andererseits muss eine Kompensation zwischen Piezoaktor und "Rohrfeder-Gehäuse" erfolgen, da sich sonst eine temperaturabhängige Änderung der Vorspannung und damit ein unerwünschtes, temperaturabhängiges Ansprechverhalten des Einspritzventils ergeben würde.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, bei einem gattungsgemäßen Einspritzventil auch dann mit geringem baulichen Aufwand eine temperaturkonstante Vorspannung sicherzustellen, wenn der Piezoaktor unter Vorspannung in eine Rohrfeder eingebracht ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Piezoaktor gemäß Anspruch 1 und ein Einspritzventil gemäß Anspruch 9 gelöst. Vorteilhafte Ausführungen der Erfindung sind den Unteransprüchen 2 bis 8 entnehmbar.

Erfindungsgemäß ist der Piezoaktor bei einem gattungsgemäßen Einspritzventil innerhalb einer Rohrfeder angeordnet. Außerdem ist das Ausgleichselement als innerhalb eines Verlängerungsrohres angeordneter Ausgleichszylinder ausgebildet. Das Aktorgehäuse umfasst eine zweiteilige, aus der Rohrfeder und

dem damit fest verbunden Verlängerungsrohr bestehende Hülse, deren verlängerungsrohrseitiges Ende fest mit der Kopfplatte und deren rohrfederseitiges Ende, unter Aufbringung einer definierten Vorspannung auf die innerhalb der Hülse axial hintereinander angeordneten Teile, fest mit einer Bodenplatte des Aktorgehäuses verbunden ist.

Der Erfindung liegt demnach der Gedanke zu Grunde, den Piezoaktor und den Ausgleichszylinder in Reihe in einem "Aktorgehäuse" zu montieren und gemeinsam mittels einer zum "Aktorgehäuse" verlängerten Rohrfeder vorzuspannen. Das Aktorgehäuse besteht aus Kopfplatte, Verlängerungsrohr, Rohrfeder und Bodenplatte. Daraus ergibt sich ein Aufbau, bei dem die Summe der Wärmeausdehnungen der inneren Teile (Piezokeramik plus Material des Ausgleichszylinders) gleich der Wärmeausdehnung des Aktorgehäuses ist. Dadurch ändert sich die bei der Montage eingestellte Vorspannung auf die Piezokeramik bei Temperaturänderung nur unwesentlich. Außerdem ergibt sich ein stabiler Aufbau der Aktoreinheit, der insbesondere deren stabile Fixierung im Ventilgehäuse ermöglicht.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist es von Vorteil, wenn die Teile des Aktorgehäuses aus Stahl bestehen, das Aktorgehäuse sich also in allen Teilen gleichmäßig und insgesamt auf definierte Weise ausdehnt.

Es ist weiterhin von Vorteil, die Teile des Aktorgehäuses an den Verbindungsstellen miteinander zu verschweißen, um die erforderliche Festigkeit der Verbindungen zwischen den Teilen des Aktorgehäuses zu erreichen.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung besteht der Ausgleichszylinder aus Aluminium. Dieses Material verbindet das angestrebte Ausdehnungsverhalten mit einer vorteilhaft hohen Festigkeit sowie einem niedrigen Gewicht.

Das Ausdehnungsverhalten der inneren Teile bzw. die Geometrie der Aktoreinheit insgesamt kann auf einfache Weise dadurch beeinflusst werden, dass zwischen Piezoaktor und Ausgleichszylinder eine Zwischenscheibe angeordnet ist.

5

Es ist von Vorteil, dass im Umfang des Verlängerungsrohres Durchbrüche eingearbeitet sind, in die jeweils ein Federblech derart montiert ist, dass bei einer eingebauten Aktoreinheit ein Wärmeübergang vom Ausgleichszylinder zum Ventilgehäuse gegeben ist. Dabei ist es auch von Vorteil, dass die Federbleche jeweils aus dem Material Kupfer, Kupfer-Beryllium oder Bronze bestehen.

10

Eine weitere Ausführungsform der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass in der Kopfplatte des Aktorgehäuses eine Nut zur Verstemmung der Aktoreinheit im Ventilgehäuse eingearbeitet ist.

15

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

20

- Figur 1 die Aktoreinheit,
- Figur 2 einen Längsschnitt durch die Aktoreinheit gemäß Figur 1,
- 25 Figur 3 einen weiteren Längsschnitt durch die Aktoreinheit gemäß Figur 1,
- Figur 4 ein Überblicksbild einer Aktoreinheit gemäß Figur 1 bis 3, und
- Figur 5 einen Teilausschnitt eines Einspritzventils.

30

In Figur 1 ist die fertig montierte Aktoreinheit dargestellt, wobei zunächst die Teile des Aktorgehäuses, also Bodenplatte 4, daran angeschweißte Rohrfeder 3, daran angeschweißtes Verlängerungsrohr 6 und daran angeschweißte Kopfplatte 5, erkennbar sind. Die Kopfplatte 5 weist Bohrungen auf, aus denen Anschlussstifte 14 des Piezoaktors 1 herausgeführt sind. Angedeutet in Figur 1 sind ferner die Schweißnähte 11, 12 und

35

13 zur Verbindung der Teile 5, 6, 3 und 4 des Aktorgehäuses. Dargestellt in Figur 1 sind auch im Verlängerungsrohr 6 eingearbeitete Durchbrüche, in die Federbleche 8 aus Kupfer, Kupfer-Beryllium oder Bronze montiert werden. Diese Federble-
5 che 8 sorgen für einen schnellen Wärmeübergang zwischen dem innenliegenden (hier nicht erkennbaren) Aluminium-Ausgleichszylinder und dem Ventilgehäuse, damit die Funktion der Längenkompensation bei Temperaturänderung optimal erfüllt werden kann.

10

Außerdem dargestellt in Figur 1 ist eine in die Kopfplatte 5 eingearbeitete Nut 10, die zur formschlüssigen Verstemmung der Aktoreinheit im Ventilgehäuse dienen kann.

15 Figur 2 zeigt einen Querschnitt (senkrecht zur Ebene der Anschlussstifte 14) durch die Aktoreinheit. Erkennbar ist insbesondere der innere Aufbau der Aktoreinheit, bei dem der Piezoaktor 1, eine Zwischenscheibe 7 und der Aluminium-Ausgleichszylinder 2 in Reihe, axial hintereinander montiert
20 sind. Diese inneren Teile 1, 7 und 2 werden vom Aktorgehäuse umschlossen, das aus der Bodenplatte 4, der Rohrfeder 3, dem Verlängerungsrohr 6 und der Deckplatte 5 besteht, die günstiger Weise aus miteinander verschweißten Stahlteilen bestehen, wodurch eine einheitliche, definierte thermische Längenaus-
25 dehnung des Aktorgehäuses insgesamt resultiert. Der Verband aus Piezokeramik 1 und Aluminium 2 ist also von einem gemeinsamen Stahlgehäuse 4, 3, 6 und 5 umschlossen, wobei die Gesamtausdehnung der inneren Teile 1, 7 und 2 im Wesentlichen derjenigen des Aktorgehäuses 4, 3, 6 und 5 entspricht, so
30 dass auch bei Temperaturänderungen die vorgegebene Vorspannung des Piezoaktors 1 invariant bleibt.

In Figur 2 ist außerdem ein O-Ring 9 an der Bodenplatte 4 dargestellt, der die Zentrierung der Aktoreinheit in einer
35 Bohrung des Injektorgehäuses erleichtert.

Figur 3 zeigt einen Querschnitt (entlang der von den Anschlussstiften 14 gebildete Ebene) durch die Aktoreinheit. In dieser Darstellung sind die durch die Bohrungen der Kopfplatte 5 hindurchgeführten und weiter in Seitenschlitzen 15 (vgl. 5 Figur 4) des Aluminium-Ausgleichszylinders 2 geführten Anschlussstifte 14 des Piezoaktors 1 besonders gut zu erkennen.

Figur 4 zeigt den gesamten Aufbau der Aktoreinheit im Überblick. Zur Montage können zunächst die Kopfplatte 5 und das 10 Verlängerungsrohr 6 durch eine Schweißnaht 11 verbunden werden. Danach wird die Rohrfeder 3 mit der Schweißnaht 12 an das Verlängerungsrohr 6 angeschweißt. Nun können die innenliegenden Teile, also der Piezoaktor 1 mit seinen Anschlüssen bzw. Anschlussstiften 14, die Zwischenscheibe 7 sowie der A- 15 luminium-Ausgleichszylinder 2 mit jeweils für die Anschlussstifte 14 vorgesehenen Seitenschlitzen 15, in der aus den Teilen 3 und 6 zusammengesetzten Hülse mit bereits angeschweißter Kopfplatte 5 montiert werden. Schließlich kann die Bodenplatte 4 mittels der Schweißnaht 13, unter Aufbringung 20 einer definierten Vorspannung auf die inneren Teile, insbesondere auf den Piezoaktor 1, mit der Rohrfeder 3 verbunden werden.

Abhängig von der gewählten Ausführungsform kann die Rohrfeder 25 3 und das Verlängerungsrohr 6 auch einstückig als ein Bauteil ausgeführt sein, wie in Figur 5 dargestellt ist. In Figur 5 ist ein Teil des Gehäuses 16 des Einspritzventils dargestellt. Im Gehäuse 16 ist eine Kraftstoffbohrung 17 ausgebildet, die Kraftstoff zu einer Düsennadel führt. Das Gehäuse 16 30 ist vorzugsweise im oberen Bereich des Einspritzventils angeordnet und der Piezoaktor 1 dient zur Betätigung eines Servoventils, das den Druck in einer Steuerkammer steuert. Die Düsennadel wird abhängig vom Druck in der Steuerkammer in eine Offen- oder eine Schließposition bewegt. In der Offenposition 35 wird Kraftstoff abgegeben. Abhängig von der Ausführungsform kann der Piezoaktor 1 die Düsennadel auch direkt steuern.

Insgesamt resultiert ein erfindungsgemäßes Einspritzventil mit einer kompakten, stabil im Injektor fixierbaren Antriebseinheit, deren Piezoaktor eine temperaturkonstante Vorspannung aufweist.

5

Patentansprüche

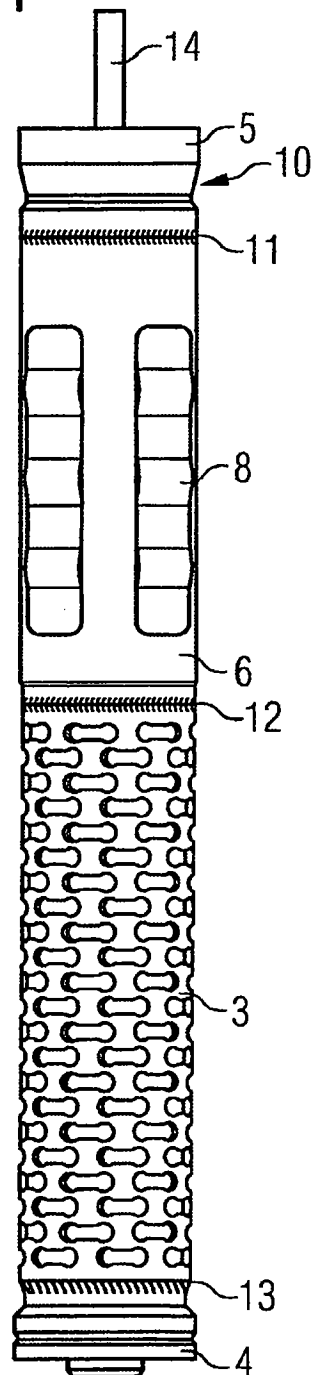
1. Piezoaktor (1) für ein Kraftstoff-Einspritzventil, der unter Vorspannung in ein Aktorgehäuse eingebracht ist, wobei
5 zwischen dem Piezoaktor (1) und einer Kopfplatte (5) des Aktorgehäuses ein Ausgleichselement zum Ausgleich der unterschiedlichen thermischen Längenänderung des Piezoaktors (1) gegenüber dem Aktorgehäuse angeordnet ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
- 10 - der Piezoaktor (1) innerhalb einer Rohrfeder (3) angeordnet ist,
- das Ausgleichselement als innerhalb eines Verlängerungsrohres (6) angeordneter Ausgleichszylinder (2) ausgebildet ist,
15 - das Aktorgehäuse eine aus der Rohrfeder (3) und dem damit fest verbundenen Verlängerungsrohr (6) bestehende Hülse (3, 6) umfasst, deren verlängerungsrohrseitiges Ende fest mit der Kopfplatte (5) und deren rohrfederseitiges Ende, unter Aufbringung einer definierten Vorspannung auf die innerhalb der Hülse (3, 6) axial hintereinander angeordneten Teile (1, 7, 2), fest mit einer Bodenplatte (4) des
20 Aktorgehäuses (4, 3, 6, 5) verbunden ist.
2. Piezoaktor nach Anspruch 1,
25 dadurch gekennzeichnet, dass die Teile des Aktorgehäuses (4, 3, 6, 5) aus Stahl bestehen.
3. Piezoaktor nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass die Teile des Aktorgehäuses (4,
30 3, 6, 5) an den Verbindungsstellen miteinander verschweißt sind.
4. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgleichszylinder (2) aus
35 Aluminium besteht.
5. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Piezoaktor (1) und Ausgleichszylinder (2) eine Zwischenscheibe (7) angeordnet ist.

6. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
5 dadurch gekennzeichnet, dass im Umfang des Verlängerungsrohres (6) Durchbrüche eingearbeitet sind, in die jeweils ein Federblech (8) derart montiert ist, dass bei einer eingebauten Aktoreinheit ein Wärmeübergang vom Ausgleichszylinder (2) zu einem Gehäuse (16) des Einspritzventils gegeben ist.
- 10 7. Piezoaktor nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass die Federbleche (8) jeweils aus dem Material Kupfer, Kupfer-Beryllium oder Bronze bestehen.
- 15 8. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass in der Kopfplatte (5) des Aktorgehäuses (4, 3, 6, 5) eine Nut (10) zur Verstemmung der Aktoreinheit im Ventilgehäuse eingearbeitet ist.
- 20 9. Einspritzventil mit einem Piezoaktor (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8.

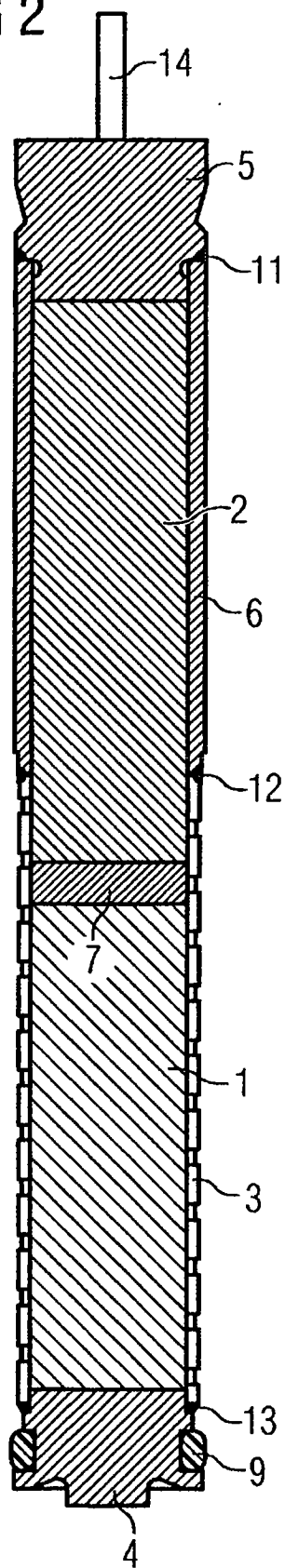
1/5

FIG 1



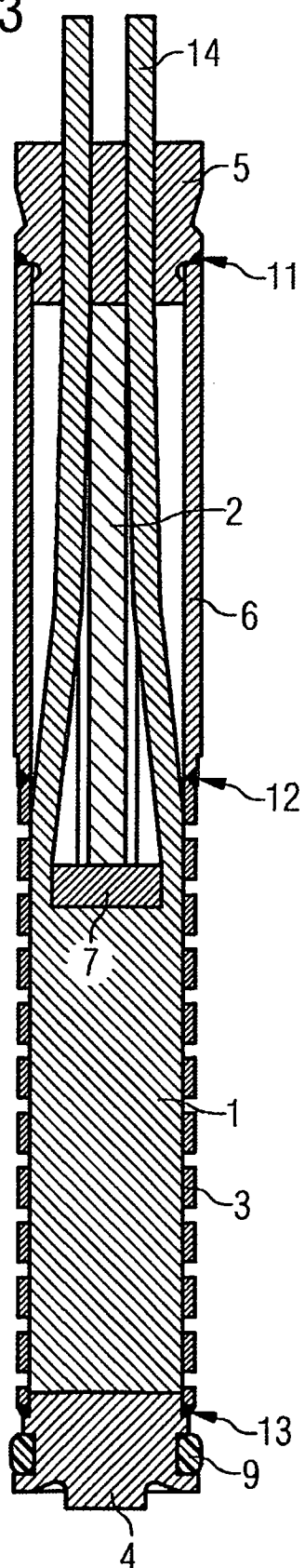
2/5

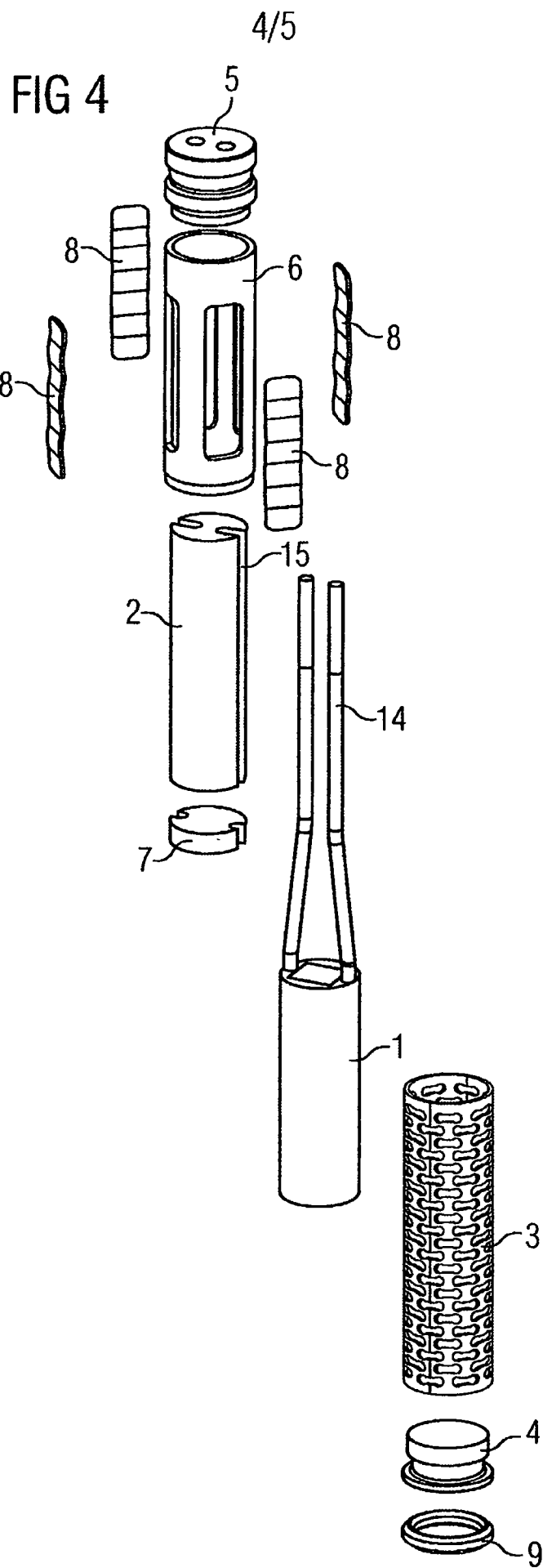
FIG 2



3/5

FIG 3





5/5

FIG 5

